

# GERAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL DO TERRENO A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

*Generation of a digital terrain model from images obtained by an unmanned aerial vehicle*

**Diondetson Rocha de Oliveira<sup>1</sup>**

**Rejane Ennes Cicerelli<sup>1</sup>**

**Tati de Almeida<sup>1</sup>**

**Giuliano Sant'Anna Marotta<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade de Brasília**

**Instituto de Geociências – IG**

Campus Darcy Ribeiro - Brasília - DF. CEP: 70910-900

oliveira.rochad@gmail.com

rejaneig@unb.br

tati\_almeida@unb.br

marotta@unb.br

## RESUMO

Este trabalho avaliou a aplicabilidade, alcance e limitações de um Modelo Digital do Terreno (MDT) extraído por meio da filtragem de um Modelo Digital de Superfície (MDS) gerado a partir de imagens obtidas por câmara não métrica de pequeno formato a bordo de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), utilizando de pontos de apoio no terreno para ortorretificação e validação dos dados. Os resultados apontaram que a discrepância média nas coordenadas x, y e z dos pontos de checagem foi menor que 5,0 cm e o desvio padrão abaixo de 9,0 cm. O teste t de *Student* revelou que os valores de x e z estão livres de tendência e em y indicou presença de erro sistemático. O MDT gerado se mostrou dependente de pontos visíveis no terreno em locais com vegetação densa. Entretanto, de maneira geral foi possível gerar um modelo digital do terreno com qualidade A do PEC-PCD para aplicações em trabalhos com escala de até 1:1.000.

**Palavras chaves:** VANT, MDT, MDS.

## ABSTRACT

This paper evaluated the applicability, scope and limitations of a Digital Terrain Model (DTM) extracted through the filtering of a Digital Surface Model (DSM) generated from images obtained by a non-metric small format camera on a UAV (Unmanned Aerial Vehicle), using field support points for orthorectification and data validation. The results showed that the mean discrepancy in the x, y and z coordinates of the checkpoints was less than 5.0 cm and the standard deviation below 9.0 cm. Student's t test revealed that the values of x and z are trend-free and y indicates systematic error. The generated DTM was shown to be dependent on visible spots on the ground in dense vegetation sites. However, in general, it was possible to generate a PEC-PCD quality A terrain digital model for applications with a scale of up to 1: 1,000.

**Keywords:** UAV, DTM, DSM.

## 1. INTRODUÇÃO

A alta demanda por Modelos Digitais de

Terreno (MDT) a baixo custo e com alta precisão estão associadas as mais diversas áreas de atuação tais como Cartografia, Hidrologia, Mineração, Topografia

e Engenharias. A aplicação desse dado torna-se imprescindível no monitoramento de fenômenos naturais, nas construções de barragens, nos estudos de viabilidade técnica de novos empreendimentos, no planejamento urbano, entre outros (Díaz-Vilariño et al. 2016; Neugirg et al. 2016; Messinger & Silman 2016; Comba et. al. 2016; Martin et al. 2015; Dubbini et. al. 2016).

Atualmente esse dado pode ser obtido por levantamentos realizados em campo, métodos fotogramétricos aplicados sobre imagens aéreas ou de satélite óticas e/ou radar e dados de varredura LiDAR (*Light Detection And Ranging*). No entanto, essas fontes apresentam alto custo na aquisição e análise, pois envolvem equipes altamente especializadas, além de softwares e hardwares de alto desempenho. Os dados gratuitos de fácil processamento, tais como do ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e não atendem a demandas de projetos que necessitam de detalhamento, acurácia altimétrica e posicional.

Além disso, vários dos dados citados geram modelos digitais de superfície e não de terreno pois consideram alvos que se localizam acima do terreno, tais como feições antrópicas (edificações, rodovias) e vegetação.

Nesse sentido, Ouédraogo et al. (2014),

Siebert & Teizer (2014), Marotta et. al. (2015a), Stöcker et. al. (2015) e Neugirg et al. (2016) avaliam positivamente a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na obtenção de levantamentos planialtimétricos em áreas de difícil acesso ou até mesmo remotas. Marotta et. al. (2015b) indica que o MDS derivado de câmara de pequeno formato a bordo de um VANT é compatível com dados gerados por LiDAR aerotransportado. Contudo, quando o assunto passa a ser a geração de MDT, o processo de geração produto não é trivial, pois envolve o conhecimento do interprete da região e extração manual dos alvos que se localizam acima do terreno.

Desta maneira, este trabalho objetiva avaliar a aplicabilidade, alcance e limitações de um MDT extraído por meio da filtragem de um MDS gerado a partir de imagens obtidas por VANT em região com edificações de padrões variados, vegetação rasteira, arbustiva e arbórea e estrutura metálica de construção abandonada.

A área de estudo (Figura 1) possui 25,86 ha apresenta relevo plano, com variação de 40 m de altitude. Abrange um canteiro de obras abandonado que faria parte do complexo do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) e está situada na zona urbana de Brasília-DF, próximo à estação de metrô Terminal Asa Sul.

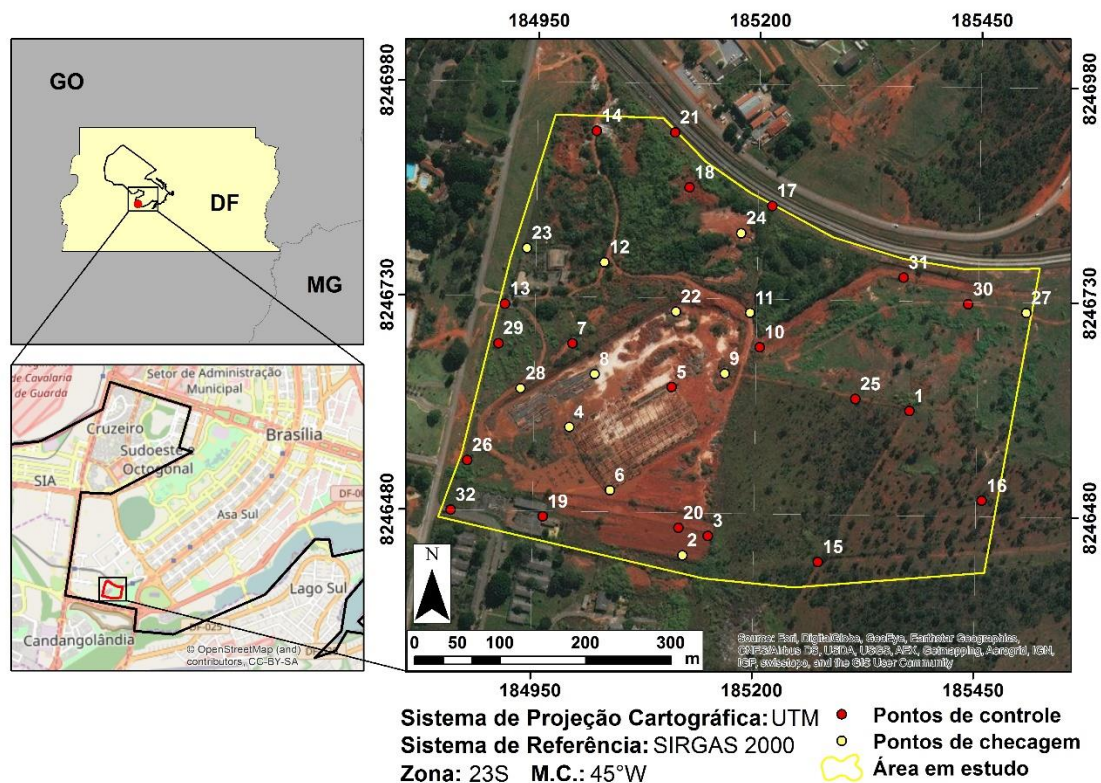


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de apoio no terreno.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A aquisição das imagens foi realizada em 26 de julho de 2016, por meio do VANT *eBee*, desenvolvido e fabricado pela empresa suíça *senseFly*. O equipamento possui 0,96 m de envergadura e pesa 0,69 kg, quando pronto para decolagem (figura 2). Sua autonomia é de 45 minutos de voo, a velocidade de cruzeiro é no intervalo de 36 a 57 km/h e resiste a ventos de até 45 km/h. Além disso, esse VANT possui embarcado sistema inercial, receptor GPS, piloto automático, sensor de altura e reverso no motor, permitindo pousos muito suaves, além de possibilitar pousos em linha reta ou em espiral, conforme *Sensefly* (2016). Os dados do levantamento foram fornecidos pela empresa *Santiago & Cintra*.

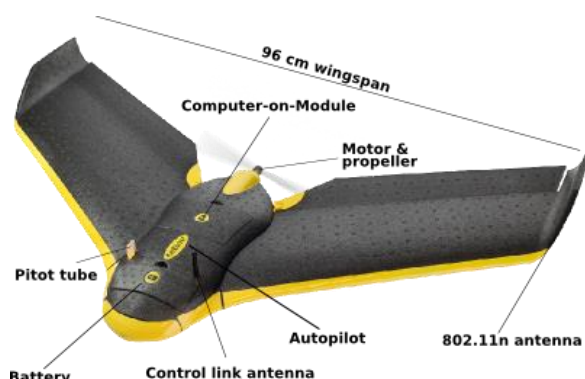


Fig. 2 - Principais componentes do VANT *eBee*. Fonte: <http://smavnet.epfl.ch/>

Na aquisição das imagens foi utilizada a câmera *Sony*, modelo DSC-WX220, equipada com sensor Exmor R CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) de 7,76 mm e resolução de 4896 x 3672 pixels.

O software utilizado no planejamento do voo foi o *eMotion 2*. Neste software configura-se todo o plano de voo, como a área a ser levantada, as sobreposições lateral e longitudinal e o GSD (*Ground Sample Distance*) a ser alcançado. Ainda, permitiu a recepção em tempo real de informações referentes à altura e altitude do voo, velocidade do vento, carga da bateria, posicionamento da aeronave, velocidade de voo, dentre outras.

Para realizar a orientação exterior, bem como avaliar os produtos gerados a partir do VANT, foi feito o levantamento de pontos de apoio no terreno, definidos como pontos de controle e de checagem. Destaca-se que o levantamento dos pontos de apoio no terreno foi realizado três meses após o voo, 27 de outubro de 2016, por isso não foram utilizados pontos de controle artificiais no terreno, mas sim feições naturais e artificiais localizadas do terreno e que ainda permaneciam no ambiente no período de levantamento geodésico, tais como postes

de energia, mourão de cerca e cantos de edificações. Foram coletados vinte pontos de controle e doze pontos de checagem.

As coordenadas dos pontos de controle e checagem foram obtidas utilizando o método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) ou posicionamento cinemático em tempo, segundo *Monico* (2008), no qual foi empregado um par de receptores GNSS CHC X900.

Para o processamento da estação de referência (base), utilizou-se o serviço on-line para o pós-processamento de dados GPS (*Global Positioning System*) – Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A precisão estimada após o pós-processamento citado foi de 1, 2 e 6 mm para as coordenadas X, Y e Z, respectivamente, para o ponto base.

O processamento se deu por meio do software *Agisoft PhotoScan Professional*, versão 1.2.6 build 2834 (64 bit). Ressalta-se que, devido a razões comerciais, existem pouquíssimas informações disponíveis sobre o funcionamento dos algoritmos de restituição fotogramétrica empregados pelo software. A falta de informação também foi observada por outros autores, como *Remondino et al.* (2014), *Reshetyuk & Mårtensson* (2016) e *Santise et al.* (2014).

Ainda assim, conforme observação de *Santise et al.* (2014), o *PhotoScan* emprega um algoritmo semelhante ao SIFT (*Scale-invariant feature transform*) para a correspondência de imagens e geração de pontos de amarração, e a orientação da imagem é realizada usando um algoritmo específico seguido por um refinamento de ajuste de feixe mais tradicional.

Pode ser verificado em *Agisoft* (2016) que inicialmente o *PhotoScan* realiza o alinhamento das imagens por meio da posição e orientação da câmera para cada foto. Durante este processo são estimados os parâmetros de orientação interior utilizados para o cálculo dos parâmetros exterior da câmera. O software utiliza os seguintes parâmetros de calibração: coeficiente de transformação de inclinação, Coeficientes de distorção radial e Coeficientes de distorção tangencial.

Tradicionalmente, de acordo com *Reiss* (2002), a orientação interior da câmera é obtida por uma sequência de procedimentos, que se inicia pela transformação das coordenadas do sistema de máquina para um sistema com origem no centro da imagem, no caso de câmeras digitais. Faz-se em seguida uma translação do ponto principal, e por fim, a correção dos erros sistemáticos.

A distorção radial é modelada por meio de um polinômio que é geralmente utilizado

considerando os seus três primeiros termos, sendo as componentes, em  $x$  e  $y$ , respectivamente, conforme análise em Reiss (2002):

$$dx_r = (k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + \dots)\Delta x \quad (1)$$

$$dy_r = (k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + \dots)\Delta y \quad (2)$$

Em que  $x$  e  $y$  são as coordenadas fotogramétricas,  $dx_r$  e  $dy_r$  são erros da distorção radial em  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $r^2 = x^2 + y^2$  e  $k_1, k_2$  e  $k_3$  são os coeficientes de distorção radial da lente.

A distorção descentrada, que possui as componentes tangenciais e radiais assimétricas, de acordo com Espinhosa (2006), é provocada pela impossibilidade do fabricante em alinhar perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõem uma objetiva. O modelo matemático para sua correção é composto pelas expressões abaixo.

$$dx_d = P_1(r^2 + 2\Delta x^2) + 2P_2\Delta x\Delta y \quad (3)$$

$$dy_d = P_2(r^2 + 2\Delta y^2) + 2P_1\Delta x\Delta y \quad (4)$$

Em que  $dx_d$  e  $dy_d$  são erros da distorção descentrada em  $x$  e  $y$ , respectivamente e  $P_1$  e  $P_2$  são os coeficientes da distorção descentrada.

O Modelo Digital de Superfície foi criado a partir das coordenadas da nuvem densa de pontos, gerada no processamento fotogramétrico e para obtenção do MDT foram realizadas duas fases de filtragem, utilizando o *software Agisoft PhotoScan*.

Inicialmente realizou-se uma classificação automática da superfície topográfica (classe solo) e dos pontos acima dela (classe não solo).

Concluída a primeira fase, promoveu-se um refinamento da filtragem inicial, por meio de classificação manual da nuvem densa de pontos. O refinamento da filtragem inicial se fez necessário em virtude de várias incongruências terem sido identificadas na classificação automática, ainda que as variáveis *Cell size*, *Max distance* e *Max angle* tenham sido ajustadas empiricamente por tentativa e erro.

Na classificação manual foi efetuada uma análise detalhada da primeira fase de filtragem, logo após associou-se os pontos classificados erroneamente como solo em classes como residência, construção e vegetação. As maiores imprecisões na classificação automática ocorreram em áreas marginais aos locais classificados como não-solo. O MDT foi obtido após a interpolação dos pontos adjacentes aos vazios criados.

A avaliação de tendência foi determinada através do teste estatístico  $t$  de *Student*, cujo

cálculo é feito por meio da equação (5). Para este teste foi considerado um nível de confiança de 90%.

$$t_{d_{x,y,z}} = \frac{\overline{d_{x,y,z}} \cdot \sqrt{n}}{S_{d_{x,y,z}}} \quad (5)$$

Onde  $t_{d_{x,y,z}}$  são os valores de  $t$  calculados para as discrepâncias nas coordenadas  $X, Y$  e  $Z$ ;  $d_{x,y,z}$  são as discrepâncias nas coordenadas  $X, Y$  e  $Z$ ;  $S_{d_{x,y,z}}$  são os desvios-padrão das discrepâncias para as coordenadas  $X, Y$  e  $Z$ ;  $n$  é o número de amostras.

A avaliação da qualidade dos dados gerados baseou-se no Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD, criado pela Norma ET-ADGV (Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais). Este indicador, assim como o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC planimétrico, é calculado pelo produto do desvio padrão das discrepâncias nas coordenadas  $X, Y$  e  $Z$  ( $\sigma_{d_{x,y,z}}^2$ ) por 1,6449 (CONCAR & EB, 2011).

$$\text{PEC-PCD} = \sigma_{d_{x,y,z}}^2 * 1,6449 \quad (6)$$

Já para validar o MDT gerado, realizou-se o levantamento de dois perfis topográficos utilizando o método de posicionamento RTK, rastreando as coordenadas a cada dez metros ao longo dos perfis diretamente no solo, com o intuito de obter as medidas reais do MDT. A escolha dos perfis se deu em função da presença das feições presentes na área, sendo que os perfis escolhidos representam feições variadas presentes na área de estudo, como solo exposto, vegetação rasteira, arbustiva e arbórea, com diferentes densidades de ocupação. No perfil I são representadas as feições com vegetação de tamanhos e espaçamentos maiores e irregulares e baixa variação no relevo, já no perfil II observa-se maior densidade vegetal, bem como variação no relevo. A localização dos perfis topográficos está representada na figura 3.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O voo foi realizado a 218 m de altura acima do solo e possibilitou a geração de um ortomosaico com 6 cm/pixel de resolução. Durante o voo foram obtidas 68 fotos que abrangeram uma área de 0,54 km<sup>2</sup>.

Na tabela 1 é possível observar que o erro RMS (*Root Mean Square*) mínimo foi menor que 1,0 cm nas coordenadas  $x, y$  e  $z$ , o máximo verificado foi de 17,0 cm em  $z$ , a média dos erros



nas coordenadas tridimensionais foi menor que 5,0 cm e o desvio padrão abaixo de 9,0 cm. Os resultados contidos na tabela 2 revelam que os produtos do levantamento podem ser enquadrados no PEC-PCD A 1:1.000, tanto na planimetria, que estabelece PEC 28 cm e Erro Padrão (EP) de 17 cm para essa escala, quanto na altimetria, que é calculado pelo produto da equidistância do produto cartográfico e a constante 0,27 e o EP que corresponde a 1/6 da equidistância do produto cartográfico, conforme CONCAR & EB (2011).

Tabela 1 - DISCREPÂNCIAS DOS PONTOS DE CHECAGEM

	$\Delta x$ (cm)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta z$ (cm)
Mínimo	0,31	0,64	0,69
Máximo	11,21	17,02	17,09
Média	1,51	4,11	-3,01
Desvio padrão	5,74	5,89	8,52

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no teste t de *Student*, a um nível de confiança de 90% e onze graus de liberdade, cujo valor de tabela é 1,796. Observando a tabela é possível notar que os valores de x e z estão dentro na região de aceitação do teste, ou seja, estão livres de tendência. Todavia, nota-se que a discrepância calculada no eixo y das coordenadas encontra-se fora da região de aceitação do teste, indicando presença de erro sistemático. Conforme sugerido por Marotta *et. al.* (2015a), a falta de calibração dos parâmetros de orientação interior na mesma área do aerolevantamento com mesmas condições técnicas e ambientais pode explicar a presença do erro sistemático apresentado.

Tabela 2 - ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELA DISTRIBUIÇÃO t DE *STUDENT*.

Valor calculado			
x	y	z	Valor tabelado
0,9102	2,4131	-1,2224	1,796

Na figura 3 tem-se a ilustração do MDS original (a) e após o processo de filtragem (b). O MDS é resultante do processamento fotogramétrico e possui resolução de 11,0 cm/pixel e foi construído a partir de uma nuvem com densidade de 80,10 pontos/m<sup>2</sup>.

Após a filtragem, Fig. 3-b, é observado um aspecto mais suave e homogêneo, indicando a remoção de feições presentes na cena, como edificações, restos de construção e vegetação. Também é possível notar na porção sudeste da figura 3 (b) duas linhas de terraceamento, indicadas por setas, verificadas em campo, antes não visualizadas no MDS da Fig. 3-a.

Com intuito de realizar uma análise detalhada da filtragem exibida na figura 3, selecionou-se uma área com representatividade das feições presentes na cena: vegetação densa e esparsa, solo exposto e mudança brusca no relevo. A partir das quais, foram traçados dois perfis topográficos (I e II na Fig. 3-a) sequenciais construídos ao longo de 740 m, ilustrados na figura 4.

O perfil topográfico I foi traçado ao longo de mais de 300 m em área com presença de vegetação com tamanhos e espaçamentos irregulares, onde há outras feições naturais e variação suave no relevo (Fig. 1).

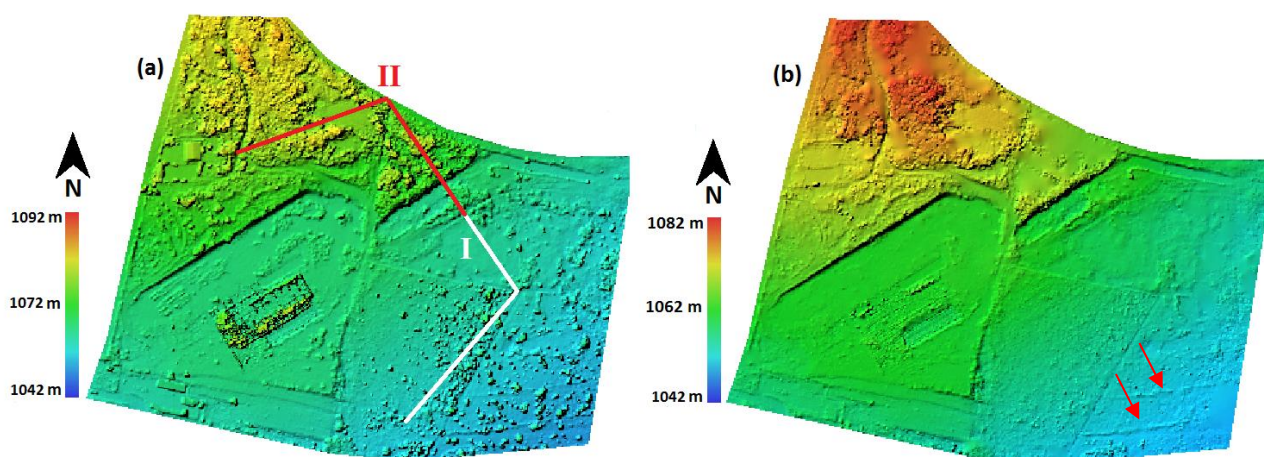


Fig. 3 – Modelo Digital de Superfície antes (a) e após (b) a filtragem, e perfis topográficos (I – em branco e II em vermelho).

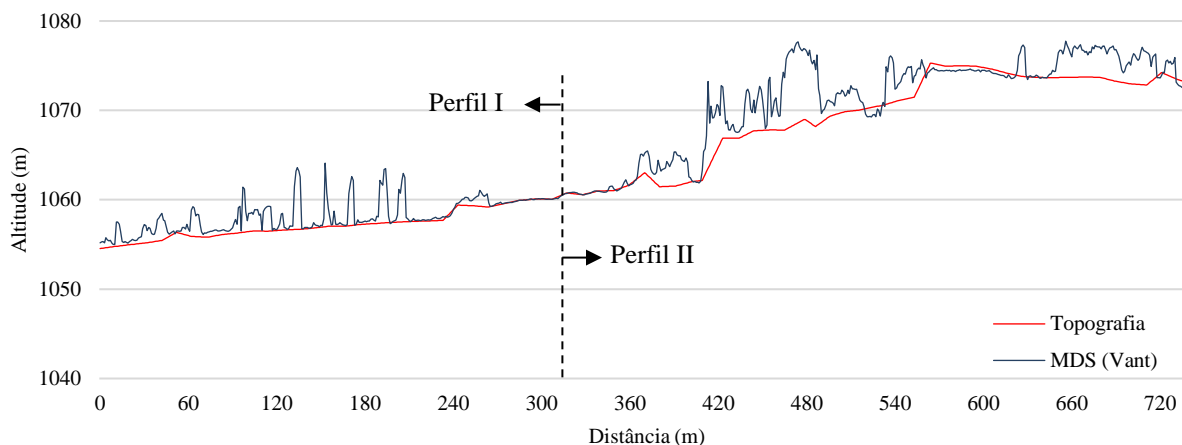


Fig. 4 – Perfis de elevação: (em vermelho) perfil topográfico construído a partir de levantamento topográfico utilizando o método de posicionamento RTK; (em azul) Modelo Digital de Superfície construído a partir de imagens obtidas por câmara não métrica de pequeno formato a bordo de um VANT.

Após as duas fases de filtragem, é possível notar no Perfil I que diversas feições presentes na cena, como a vegetação esparsa, foram removidas. Na Fig. 5 tem-se o comparativo do perfil topográfico extraído por meio da filtragem do MDS com o perfil obtido por meio do levantamento topográfico.

Observa-se que o perfil topográfico gerado a partir dos dados obtidos com VANT aproxima-se do perfil obtido em campo, sendo suas linhas pouco destoantes ao longo de todo gráfico.

O gráfico contendo os resíduos verificados entre o levantamento topográfico e o MDT é ilustrado na figura 6. Os resíduos identificados corroboram a afirmação do parágrafo anterior, tendo em vista que o maior erro verificado foi de 0,75 m e o erro médio ao longo de todo Perfil I foi 0,04 m.

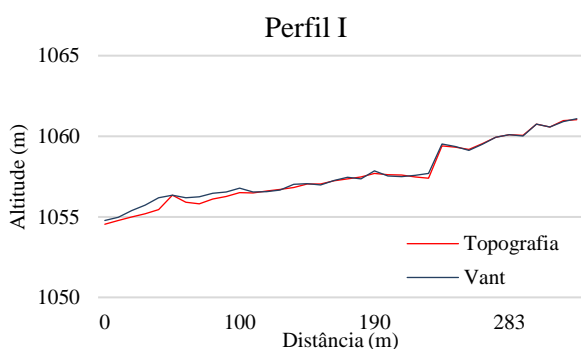


Fig. 5 – Perfis de elevação traçados ao longo do Perfil I.

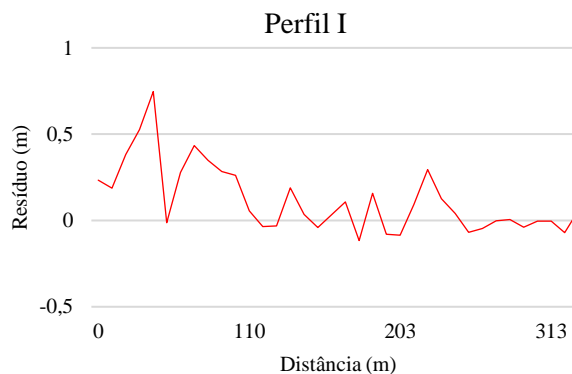


Fig. 6 – Resíduos verificados ao longo do Perfil I.

O perfil topográfico II foi alocado ao longo de uma área com vegetação (árvores, arbustos e vegetação rasteira) adensada, bem como terreno com variação significativamente do relevo. Ao analisar os gráficos contidos nas figuras 4 e 7 observa-se que, após as duas etapas de filtragem, os picos do gráfico, que representa a vegetação, foram removidos e o gráfico da Fig. 7 indica que o perfil topográfico obtido pela filtragem do MDS tem curvas semelhantes ao perfil construído a partir da topografia convencional.

Entretanto, nessa área todo o relevo, que é ondulado, possui cobertura vegetal, em que as vegetações arbustiva e rasteira cercam as árvores maiores. Por se tratar de uma câmera que opera na faixa do visível da radiação eletromagnética (REM) (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), nesta amostra apenas os raios de luz provenientes da vegetação chegaram ao sensor. Sendo assim, não foram coletadas informações das coordenadas tridimensionais do terreno propriamente dito.

Para realizar a filtragem foi necessário a remoção de toda vegetação, no entanto, por se tratar de área com vegetação adensada e variação no relevo,

a interpolação ocorreu a partir de informações das bordas da área filtrada, não levando em consideração as variações existentes no meio da área. Ou seja, nesta situação houve perda importante de informação superfície topográfica.

Dessa maneira, as diferenças dos perfis de elevação contidos no gráfico da Fig. 7 não são desprezíveis, conforme o gráfico da Fig. 8. Esta figura revela que, entre o perfil topográfico gerado a partir dos dados obtidos com VANT e o perfil topográfico obtido em campo, a média dos erros foi de 0,19 m, e que há erro de até 3,22 m.

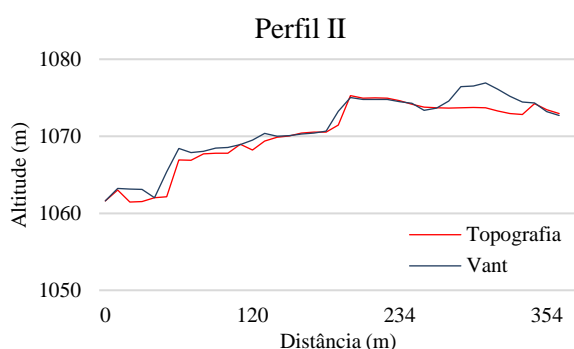


Fig. 7 – Perfis de elevação traçados ao longo do Perfil II.

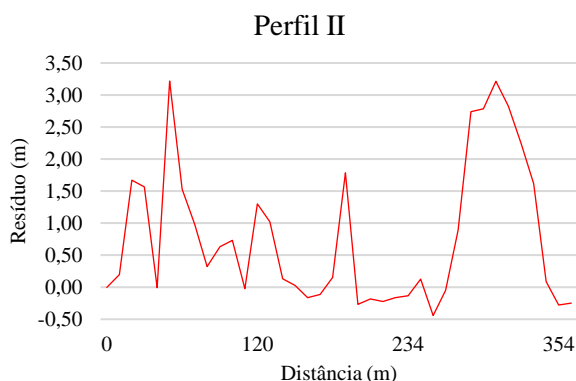


Fig. 8 – Resíduos verificados ao longo do Perfil II.

## 5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os fatos apresentados, observa-se que foi possível gerar um modelo digital do terreno a partir da filtragem de um modelo digital de superfície criado a partir de imagens obtidas por meio de um veículo aéreo não tripulado. Os produtos gerados possuem qualidade A do PEC-PCD para aplicações em trabalhos com escala de até 1:1.000.

Diversas feições presentes na cena foram removidas com efetividade, demonstrando boa performance da metodologia aplicada. No entanto, por se tratar de uma câmera que opera na faixa do visível, locais com variações significantes no relevo e ampla cobertura sobre ele interferem diretamente no

processo de filtragem. Assim a geração de MDT se mostrou dependente de pontos visíveis no terreno.

Em virtude de se ter usado no levantamento um sensor não métrico e de baixo custo de aquisição, bem como rapidez na obtenção e processamento das imagens, a geração de MDT a partir de um MDS, frente ao levantamento topográfico convencional ou por perfilhamento a laser, pode ter custo de levantamento reduzido, mantendo a mesma qualidade final, como pode ser observado em Marotta *et. al.* (2015b) e Silva *et. al.* (2016).

Para trabalhos futuros sugere-se adicionar novos parâmetros na filtragem automática do MDS para a geração do MDT e realizar análise dos produtos gerados a partir de voo com VANTs com tecnologia RTK embarcada.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento à empresa Agisoft LLC, pelo fornecimento do software *Agisoft PhotoScan Professional*. À empresa Santiago & Cintra, pelo fornecimento dos dados do VANT e da câmara. À empresa Agriambiental Engenharia, pelo fornecimento do Receptor GNSS. Ao IBGE pelo processamento dos dados da base.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2**. Disponível em: <<http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>>. Acesso: 23 de outubro de 2016.

ANDRADE, J. B.; **Fotogrametria**, Curitiba: SBEE, 1998, 258p.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey, Oxford University Press, n. 12, 1986.

COLOMINA, P. M. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 92, p. 79–97, 2014.

COMBA, L. *et. al.* **Vineyard detection from unmanned aerial systems images**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 114, p. 78-87, 2015.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia; EB - Exército Brasileiro. **Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais**. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2 ed.,

2011.

DÍAZ-VILARIÑO, L. *et. al.* **Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff.** Measurement, v. 85, p. 132-141, 2016.

DUBBINI, M. *et. al.* **Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia).** Journal of Archaeological Science: Reports, v. 8, p. 121-134, 2016.

ELLENBERG, A. *et. al.* **Use of Unmanned Aerial Vehicle for Quantitative Infrastructure Evaluation.** Journal of Infrastructure Systems, v. 21, n. 3, 2015.

ESPINHOSA, D. R. S. **Influência da injeção da base na fototriangulação de imagens obtidas com uma unidade de mapeamento móvel.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2006.

EUROPEAN COMISSION. **Study Analysing the Current Activities in the Field of UAV.** Technical Report. 2007.

FERREIRA, A. M. R. *et. al.* Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais.** 2013.

FYTSILIS, A. L. *et. al.* **A methodology for near real-time change detection between Unmanned Aerial Vehicle and wide area satellite images.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 119, p. 165-186, 2016.

HERWITZ, S. R. *et. al.* **Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 44, p. 49-61, 2004.

LI, W. *et. al.* **Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system.** Ecological Indicators, v. 67, p. 637-648, 2016.

LOPES, M. *et. al.* Vantagens no uso de imagens

obtidas com veículos autônomos não-tripulados no estudo de costas rochosas: o exemplo de S. Paio, Vila do Conde. In: VII Congresso Nacional de Geomorfologia, Geomorfologia 2015. **Anais.** 2015.

MAROTTA, G. S. *et. al.* Avaliação geométrica de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado para uso em aerolevantamentos. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, n. 3, p. 591-601, 2015a.

MAROTTA, G. S. *et. al.* Avaliação posicional de modelo digital de superfície derivado de câmara de pequeno formato. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, n. 7, p. 1467-1477, 2015b.

MARTIN, P. G. *et. al.* **The use of unmanned aerial systems for the mapping of legacy uranium mines.** Journal of Environmental Radioactivity, v. 143, p. 135-140, 2015.

MESSINGER, M.; SILMAN, M. **Unmanned aerial vehicles for the assessment and monitoring of environmental contamination: An example from coal ash spills.** Environmental Pollution, v. 218, p. 889-894, 2016.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações,** UNESP, 2008, 476p.

NEUGIRG, F. *et. al.* **Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys.** Geomorphology, v. 269, p. 8-22, 2016.

OLIVEIRA, R. A.; TOMMASELLI, A. M. G. **Avaliação de uma técnica para geração de modelos digitais de superfície utilizando múltiplas imagens.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, n. 2, p. 257-278, 2014.

OUÉDRAOGO, M. M. *et. al.* **The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds.** Geomorphology, v. 214, p. 339-355, 2014.

REISS, Mário Luiz Lopes. **Restituição fotogramétrica flexível de imagens à curta distância: estudo de método e desenvolvimento de protótipo.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2002.



REMONDINO, F. *et. al.* **State of the art in high density image matching.** The Photogrammetric Record, 29(146), p. 144–166, 2014.

RESHETYUK, Y.; MÅRTENSSON, Stig-Göran. **Generation of highly accurate digital elevation models with unmanned aerial vehicles.** The Photogrammetric Record 31(154), p. 143–165, 2016.

SANTISE, M. *et. al.* **Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(5), p. 529–536, 2014.

SENSEFLY. **eBee: The professional mapping drone.** Disponível em: <<https://www.sensefly.com/drones/ebee.html>>. Acesso: 25 de novembro de 2016.

SIEBERT, S.; TEIZER, J. **Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system.** Automation in Construction, v. 41, p. 1-14, 2014.

Silva, C. A. *et. al.* **Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LiDAR.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 22, n. 1, p. 73-94, 2016.

STÖCKER, C. *et. al.* **Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry — A case study from Andalusia, Spain.** Catena, v. 132, p. 1-11, 2015.

SUGIURA, R. *et. al.* **Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle.** Biosystems Engineering, v. 148, p. 1-10, 2016.

VERGER, A. *et. al.* **Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops.** Remote Sensing of Environment, v. 152, p. 654-664, 2014.

ZAHAWI, R. A. *et. al.* **Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery.** Biological Conservation, v. 186, p. 287–295, 2015.